

地质资料汇编

第 一 期

一九七二年十月

目 录

一、路易西安纳中新世产油带的某些浅成盐丘的构造发展	 H.A.约翰生、D.H.勃莱特生(1)
二、初期变质作用对泥岩中有机物的影响 ...D.R.贝克尔、G.E.克雷普尔(16)	
三、石油的稳定碳、氢和硫同位素的变化与油气形成作用旋回性的关系.....И.А.叶列缅科、T.A.博特涅娃等(24)	
四、岩石的均质性及其与储油性质的关系的评价 Ф.И.科季雅霍夫(27)	
五、多层油田勘探层划分的主要标准 H.E.贝可夫、A.B.车尔尼茨基(30)	
六、碳酸盐岩剖面中气田普查和勘探方法的某些问题	 B.П.萨夫钦科、Л.Г.库兹穆克等(34)
七、新的含油气地区的油气资源的评价方法	 И.И.涅斯捷洛夫、B.B.波捷梁耶娃(37)
八、北高加索晚侏罗世碳酸盐岩储集层中油气普查勘探	
工作的方向..... A.B.索洛维耶夫、M.C.布尔什塔尔等(39)	
九、石油地质中应用电测井的远景 B.Д.库库鲁扎(42)	
十、深钻进技术的新进展 (44)	
十一、油气普查中地球物理工作的进展B.B.费登斯基(46)	
十二、关于美国深部钻探的概述 Э.В.柴科夫斯卡娅、E.A.嘉科诺娃(49)	
十三、世界第二口最深井的钻进工艺 卡洛斯·比阿斯(51)	

路易西安纳中新世产油带的某些浅成盐丘的构造发展

H.A.约翰生 D.H.勃莱特生

摘要:对路易西安纳沿岸中新世产油带中的六个浅成盐丘进行了研究,了解到经过钻探的那些沉积物沉积时的构造发展史。这些盐丘为克罗夫利、科塔勃兰奇、雷克华盛顿、纳波仑维勒、维克斯埃兰特和华特卡斯塔盐丘。

盐丘的构造发育是和沉积物沉积同时进行的。已知的盐丘的地层剖面是由约15000呎的砂页岩互层组成的,下伏者为具有异常高的孔隙压力的以页岩为主的岩层。砂岩和页岩地层(主要为页岩)同这些盐丘构造的盐的物理性质和物理性质的差异,部分地决定于这些构造的几何形态。为了力求弄清盐丘的构造发展史,对构造的细节和特征作了研究,它们为:“鞘”的形状,上升和差异沉降,边缘向斜的发育,断裂作用和断层型式。

极大多数的翼部沉积岩或是靠着构造核沉积,或是沉积后不久被这些核刺穿。这些构造的核由盐或下伏在较浅的砂页岩岩层之下的盐和高孔隙压力剖面中的页岩组成。核中的页岩是移动过的,其现在所处的“鞘”的位置是由褶皱作用或褶皱和断裂的组合作用造成的。核的形状控制了远离核的沉积间隔的趋异半径和比率。如果核的边的倾角达到约 60° ,则翼部沉积岩中主断裂的等高线是弯曲的,并与核相切。

引言

墨西哥湾沿岸盐丘的构造情况和地质历史,自发现盐丘以来已经成为石油地质学家关心的课题。在开发钻进过程中,对于单个的盐丘已经作了一般的观察。在已发表的文献中(Wilhelm, 1948, Atwater和Forman, 1959),关于旨在确定这群盐丘的相似性与差异性以及它们可能的意义和相对重要性所作的详细研究,是比较有限的。对于路易西安纳南部中新世产油带中这群浅成盐丘,业已作了这种研究,试图

解决其中的某些问题。目的在于对被钻进的沉积岩沉积时期的中新世浅成盐丘的构造历史,有一个比较清楚的认识。

路易西安纳中新世含盐产油带的沿岸盐丘分布在9000呎地面范围内,它们的位置见图1所示。在100—3000呎地面范围内,选作为研究的具有盐构造的六个油田为:维克斯埃兰特、科塔勃兰奇、华特卡斯塔、纳波仑维勒、克罗夫利和雷克华盛顿(图1)。

典型剖面、物理性质和构造特点

典型剖面

地层研究表明,路易西安纳中新世的地层,总的向南变厚,从陆相沉积,经过过渡变为海相沉积。从陆相到海相的相过渡中,砂的比例降低。在任何一个盐丘中,地层剖面的上部由陆相砂岩和含有适当高含量砂的页岩组成。这一剖面向下变为页岩以及过渡的和浅海相砂岩,砂的含量随着深度下降,到几乎完



图1—路易西安纳墨西哥湾沿岸9000呎地面范围内中新世含盐产油带中盐丘分布地点的示意图。

全没有。这种以页岩为主的剖面未必缺砂。这一层序是陆地向海洋推进的结果,使得海岸线纯粹向南移动。这一剖面的厚度在所研究的六个油田中为 13000—17000 呎。维克斯埃兰特的这种典型剖面(图 2)对于这六个油田来说是有代表性的。

在盐丘上的开发钻进没有达到砂页岩剖面底部以下的层位。本文阐述以页岩为主的剖面以上的地层沉积时的构造历史。当这一地层开始沉积时,盐丘构造业已存在。六个盐丘构造所在处,到母盐层的深度估计为 30000—40000 呎以上(Nettleton, 1952)。这一估计厚度的下部 13000—27000 呎地层的岩石学和地质时代尚不得知。

物质的物理性质

盐丘构造物质的物理性质,以及沉积物厚度与沉积的分布和速度都同构造的几何形态有关。六个盐丘的物质是互层的砂和页岩、页岩以及盐。快速强度试验表明了这些物质的相对强度以及封闭压力效应、温度和孔隙压力(Handin 和 Hager, 1957, 1958; Handin等人, 1963)。

为了将这些物质进行比较,石盐、具有正常孔隙

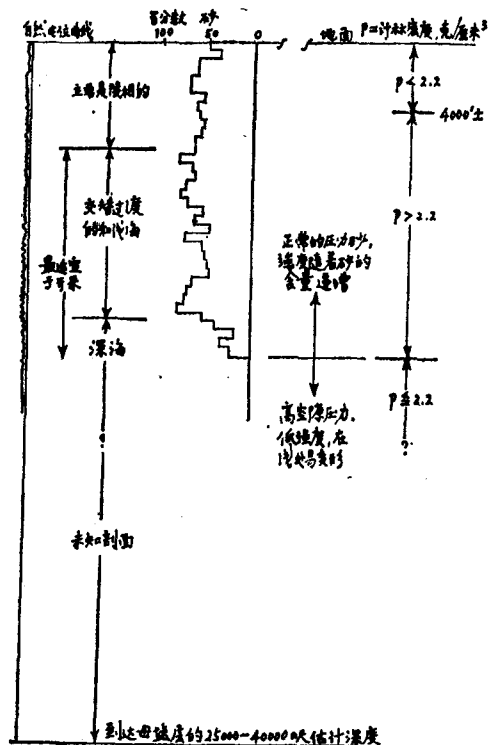


图 2—维克斯埃兰特盐丘的示意典型剖面,该剖面对于所研究的六个油田有代表性。

压力的维克斯埃兰特“S”砂岩和具有正常与异常高孔隙压力的页岩的极限强度同深度的关系已编制成图(图 3)。这些曲线是以“有效应力”概念为基础,对干样品进行快速压力试验估计制定的。所谓“有效应力”,系指将覆盖层压力减去岩石的孔隙压力后砂岩和页岩的正应力是近似的。这些快速试验提供了这些物质之间差异性的相对概念。地质时间修正了盐的性状。

这些物质在地下约 10000 呎深度的相对强度和密度见图 4 a和b所示。砂页岩和页岩之间密度的逆转是有问题的。根据地下强度的比较,可以认为互层砂页岩剖面的正常孔隙压力梯度为 0.46 磅/平方吋/呎深度;以页岩为主的剖面为 0.80 磅/平方吋/呎深度。根据野外经验和狄肯松(1953)的资料,这些梯度看来是合适的。互层砂页岩剖面的强度最高,页岩的强度约为前者的一半,盐的强度最低。以页岩为主的剖面,孔隙压力高、强度低、密度低,显然是由于流体的逸失通道差而压紧作用受到部分阻碍的结果。

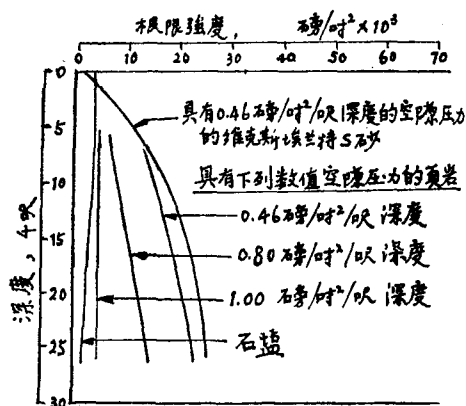


图 3—石盐、页岩和中新世砂岩的强度和埋藏深度之间的关系。这些曲线是根据对压缩变形的样品进行快速试验估计制定的。石盐曲线是单晶曲线(Handin和Hager, 1958)。页岩曲线是在封闭压力和高温下根据对白垩纪泥质页岩的干样品试验制定的(Handin和Hager, 1958)。维克斯埃兰特砂岩曲线是在封闭压力和室温条件下根据对干样品试验制定的(Handin 和 Hager, 1957)。S 砂岩曲线并不反映深处的高温效应,这种效应可以使强度降低 0—13%。

除了这种简单的快速强度比较以外,盐还具有可塑性。在高温下进行快速试验时,当达到屈服应力时石盐的单个晶体(Handin和Hager, 1958)无需进一步增加应力而发生流动。据野外观察知道,在比实验室的短时间所需的、较低的温度和应力下,在一个较长的时期里盐是有可塑性的(Muehlberger, 1959, Trusheim, 1960)。在这三种物质中,盐是最“能流

动的。

对于一个单独的浅成盐丘构造带, 现存的几何形态的一部分是当沉积时或此后不久的时期中地面和近地面活动的结果, 部分是累积变形的结果, 后者发生在目前占居带和地面之间空间的沉积物沉积时期。在地面附近, 页岩应看作为粘土, 因它们处于低级压紧和岩化阶段。埋藏深度约小于 1500 呎的互层砂和粘土、粘土以及盐的相对物理性质的比较见图 4 c 和 d。在浅处, 砂-粘土和粘土的快速强度低于盐。其中粘土的强度最低。粘土的密度可能低于互层砂和粘土。砂和粘土之间这样的密度逆转见于现代密西西比的三角洲中, 在那里密度约为 2.0 的砂加到密度为 1.7 粘土之上的剖面中, 产生了一种不稳定性, 导致泥丘的生成 (Morgan 等, 1963)。

总括地讲, 这一研究是有关上部 13000—17000 呎沉积岩的。在这一剖面开始沉积时, 六个盐丘中每一个所在位置都有一种盐构造存在。盐的密度和强度比其它沉积物低及其可塑性, 是独特的物理性质, 这将使运动得以发生, 盐构造得以发展。然而, 最重要的活动是发生在这六个构造的上部 13000—17000 呎沉积剖面沉积的时候, 它决定了现存的构造的几何形态。这种形态在很大程度上有赖于沉积物沉积和埋藏时的物理性质以及沉积物对于盐相对地向上上升所产生的动力发生反作用时的状态。关于有助于形成这些构造的物理性质和其差异的要点, 可归结为: (1) 以粘土为主的剖面比含砂的上覆剖面易于变形; (2) 当互层砂和粘土与上覆的粘土在地面附近时, 它们之间可能出现密度的逆转; (3) 当砂页岩和页岩沉降和被年轻沉积物埋藏较深的时候, 它们的强度增大和 (4) 盐具有可塑性并能流动, 而且比其它物质更能流动。

构造特点

某些有助于了解盐构造历史的构造细节和特点, 如下: (1) “鞘”的形状, (2) 上升和差异沉降, (3) 边缘向斜的发展和 (4) 断裂作用和断裂型式。

“鞘”——本文中采用的这一描述性术语“鞘”, 是指显然位于盐株和年轻的沉积岩之间的以页岩为主的物质, 它围绕盐体形成一个鞘。并非全部盐丘都有一个“鞘”。在五个有“鞘”的盐丘上所观察到的各种“鞘”的情况见图 5。关于这种物质形成, 有两种解释: (1) 页岩被上升着的盐体向上褶曲, 而后年轻的沉积物不整合沉积在“鞘”上; (2) 页岩被褶曲并断开, 位移到盐和侧翼沉积物之间的位置。

第一种说法对于华特卡斯塔盐丘的某些部分最有根据。图 5 a 表示这种“鞘”的向上褶皱作用, 这由微动物化石带加以确定, 在“鞘”之上连续重叠覆盖

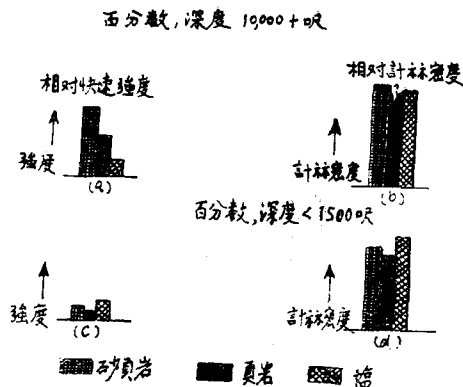


图 4—砂页岩、页岩和盐的相对强度和计算密度的比较。

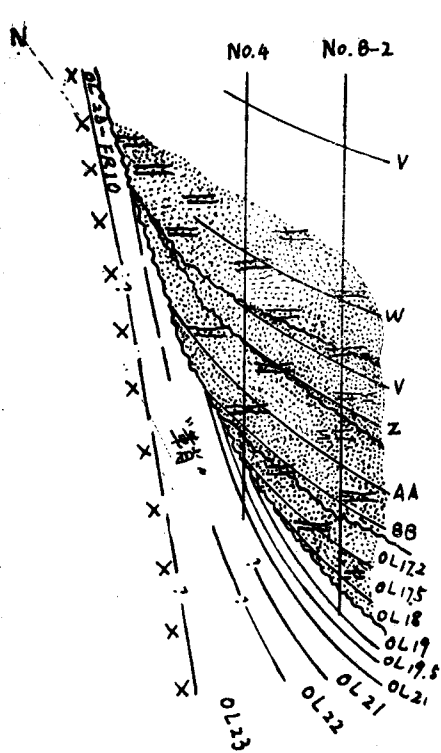
了一些年轻的沉积物。图 5 b 是纳波仑维勒南翼的一例, 上升和褶曲发生在沉积历史中的较晚时期。

关于“鞘”生成的第二种机理的实例见图 5 c 和 d 所示。图 5 c 是根据维克斯埃兰特油田北翼的形状。图 5 d 表示一块单独的“鞘”。这见于华达卡斯塔盐丘。这些“鞘”块体显然是当侧翼沉积物相对于核发生沉降时, 剪切开来的。

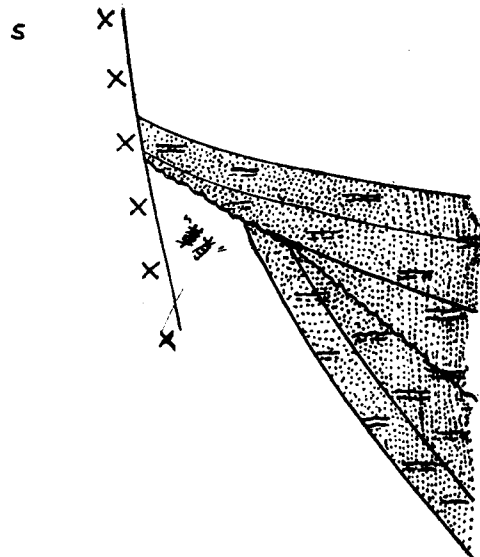
上升和差异沉降——在这一研究中, 上升是指“是在沉积基准面上的上升, 沉积物被波浪或水流作用搬移掉”。在所研究的地层剖面和地理区没有发现区域侵蚀不整合。总的区域历史是由沉降和同时沉积物发生沉积构成的。在盐构造上可以见到侵蚀不整合, 因此这与局部构造发育有关。

盐丘构造的可以对比带之间的间隔厚度总的向盐株方向变薄, 变薄的比率是各种各样的。在图 6, 把一个间隔的厚度在盐丘侧翼的沿倾斜而上和沿倾斜而下的两个地点作了比较。这一间隔向着盐株方向在 3000 呎半径距离内变薄 28%。如果沿着作过测量的层面的半径距离对于每一个间隔是一样的, 则变薄的总量可以用来定性地比较不同厚度的相继的垂直间隔变薄的情况。为了弄清楚“鞘”的形状, 表明 3000 呎半径距离内的变薄总量的图式是根据极大多数的横剖面编制的。具有被中间深度的高比率分隔的低比率的一个有代表性的形状 (纳波仑维勒油田) 示于图 7。

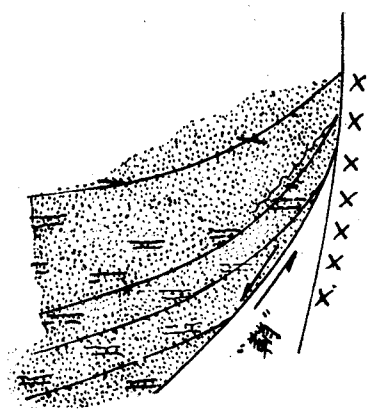
因较大的压紧或被挤向隆起中心的畸变变薄看来是不很重要的。倘若是这样, 那末如果发生在上覆岩层中, 则深部地层应显示这种效应。但如图 8 和 9 所示, 在维克斯埃兰特北翼和克罗夫利西翼, 具有沿倾斜而上变薄比率很小或低的间隔下伏在具有变薄比率较高的间隔之下。因此, 在沉积时发生的和沉积后由于局部侵蚀不整合造成的变薄看来比其它成因的更重要。



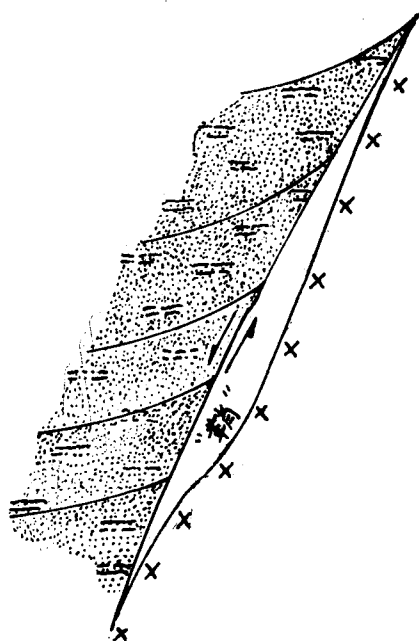
华特卡斯塔
(a)



纳波仑维勒
(b)



维克斯埃兰特
(c)



华特卡斯塔
(d)

图5—所述盐丘上的“鞘”的示意图。“鞘”的形状和断层5（部分是由于维克斯埃兰特构造的结果）示意图15。

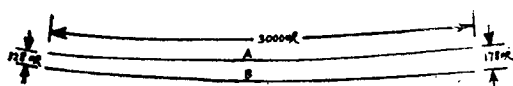


图6—计算变薄比率的方法= $\frac{178-128}{178} \times 100$
=28%

1933年，巴顿探讨过一种假说，即由重力造成的盐丘构造发育的机制主要是侧翼下陷或沉降问题，上升是不太重要的。非侵蚀不整合的变薄是由差异沉降引起的；即总的讲离核有一定距离的地方比邻接的地方沉降要大，而且朝隆起的中心方向沉积较少。这种由于差异沉降而变薄的假说，就是本文中所谓的“趋

异”。

远离盐丘的趋异半径（在该地半径值是知道的）对深度的关系示于半径横剖面上。井的控制和井控制范围以外的地震剖面上的趋异倾角用来确定这种半径。一般的讲，趋异半径向上减小。在几个盐丘的侧翼，趋异比率和半径发生垂直突变（见维克斯埃兰特北翼，图8和科塔勃兰奇，图10）。

派克和麦克道惠尔（1955）关于盐丘的模拟研究提供了这些变化的原因。他们观察到，当具有泥覆盖层的沥青丘发育时，由正在上升丘产生的地面小丘的直径受沥青（低密度核）圆柱的直径、地面下沥青的深度和覆盖层的强度所控制。核的直径愈大，地面小丘愈大。如果当加上一个新的覆盖层时沥青很接近地面，则这一新层的拱曲限制在只是稍稍比丘的横剖面

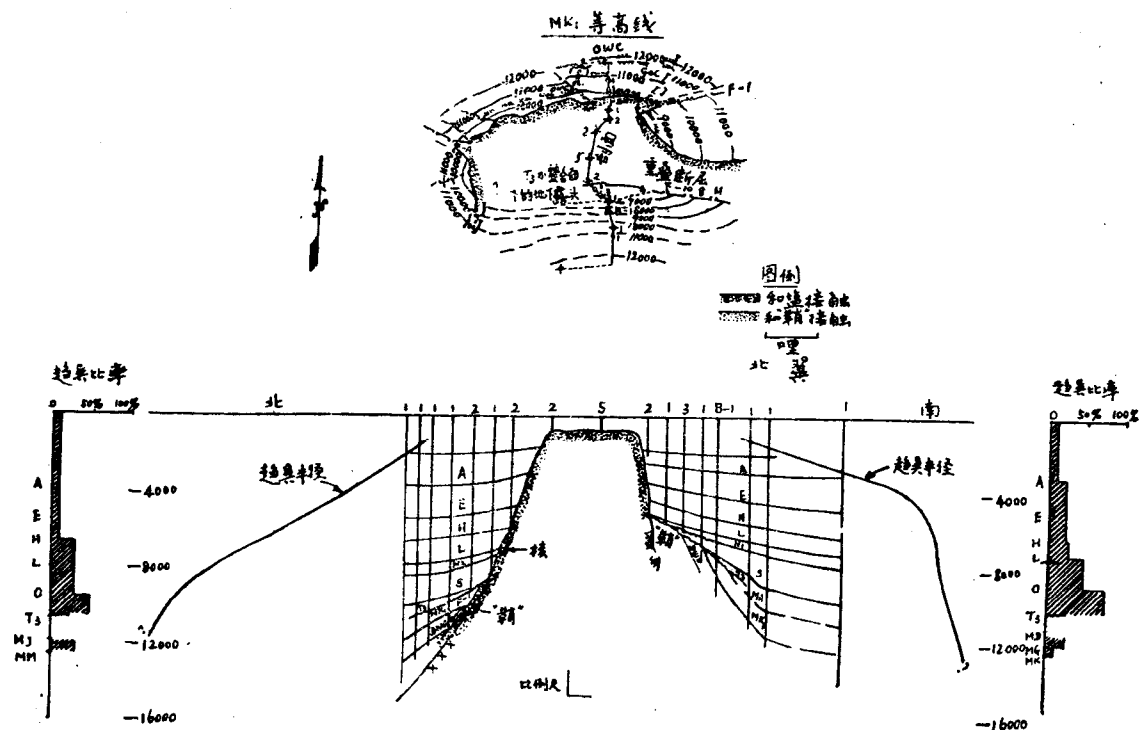


图7. ——纳波仑维勒构造

大一些的地方，而倘若沥青更进一步位于地面之下，则受影响的面积较大。这种覆盖层强度的增大引起了地面丘地区内的强度增大。

同这些模拟比较表明，盐丘构造的趋异半径向上减小可能是由于较浅的沉积物沉积时核比较接近地面或是当核相对地向上升起时这种低密度核的直径减小的结果。这种强度增大效应是同已经发生的趋异半径的减小是对立的。

边缘向斜——环绕一个盐丘构造边沿的向斜，可

能是由于：叠加于构造上的区域倾斜，因一翼外面的局部沉降超过区域沉降引起的叠加于构造上的局部倾斜（盐的后撤）或这两种现象的组合。图11表明，区域倾斜为2°的一个向斜叠加在盐丘构造上。这样的一种向斜只是围绕该构造的区域性沿倾斜而上的边发育的。

围绕科塔勃兰奇盐丘的边缘向斜看来属于第二种类型。图12的地震剖面表示盐丘周围的局部沉降超过区域沉降。在指示层“H”之上，剖面上的地震倾斜

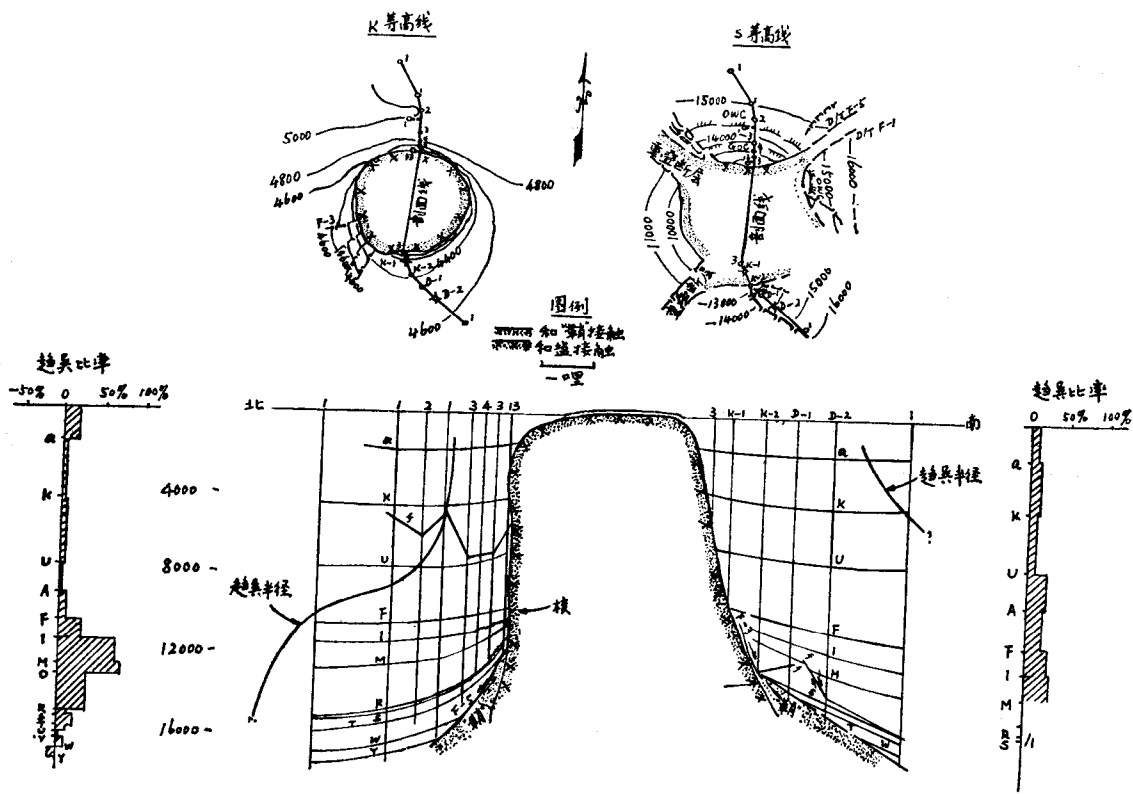


图8. ——维克斯埃兰特构造

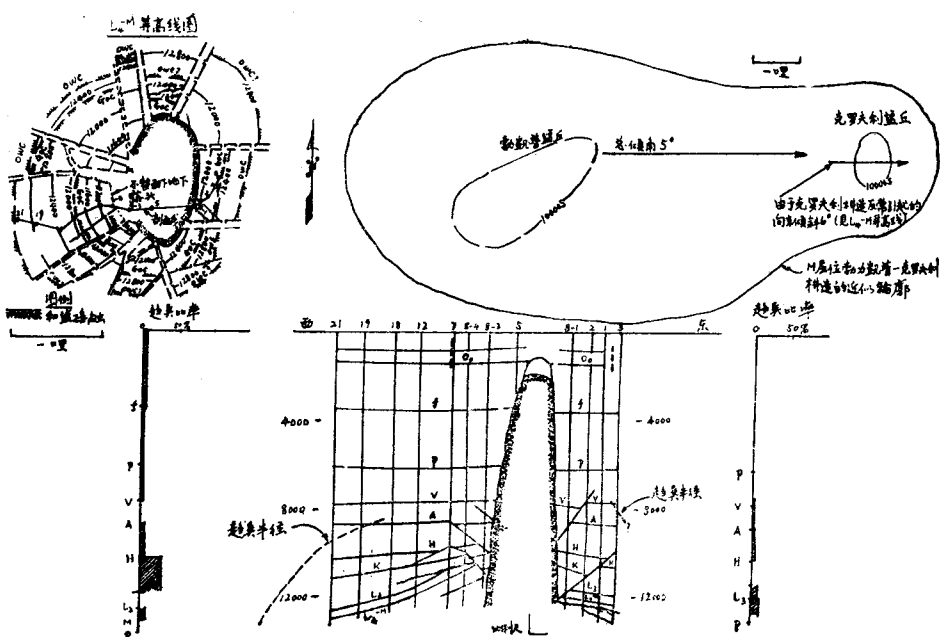


图9. ——克罗夫利构造

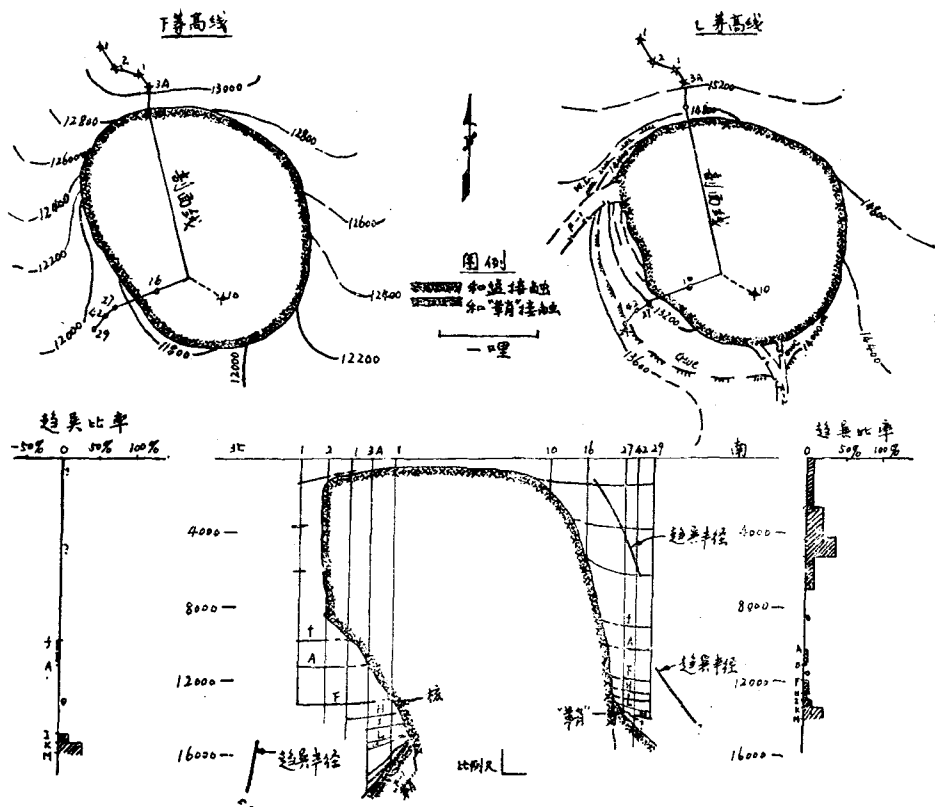


图10.——科塔勃兰奇构造

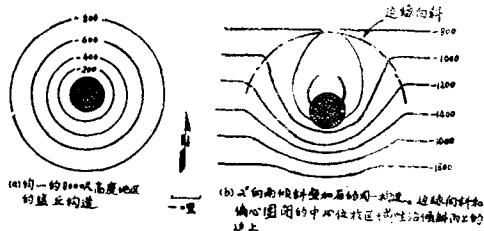


图11.——由于区域倾斜的叠加环绕盐丘而形成边缘向斜。

大体上朝着盐丘趋异。这一沉降是局部的，发生在指示层“H”沉积之后。这种边缘向斜是由盐的后撤引起的局部沉降造成的。

图11也表明，这种区域倾斜的叠加造成了一个圈闭（相对于穹窿）对于穹窿的水平横剖面轮廓线发生偏心。圈闭的中心是偏向区域性沿倾斜而上的盐丘的一边。因此，如果圈闭的中心不是偏向区域性沿倾斜而上这一边，则叠加的倾斜主要是局部的，一翼的沉降超过区域性沉降。

断裂作用——派克和麦克道维尔(1955, 2455页)在他们对泥和沥青丘的模拟研究中，发现断层型式中的

的一个重要因素是构造周围的沉降是均一的还是不均一的。他们认为：“……加入和安置覆盖层需要极其小心，这样可以在丘的周围造成一个均匀发育的沉降（在沥青源中）。泥（覆盖层）中即使较小的变化，也足以引起这种沉降的深度不一致……丘上的主要断裂倾向于同一个不一致发育的沉降的较深部分平行排列。在某些模拟中，所有主要横推断层沿着这一沉降的很深的部分断开……”。

伴随这些构造周围的完全均一沉降的断层型式的野外实例有较浅带内的华特卡斯塔（图13）、克罗夫利（图9）和雷克华盛顿（图14，“K₂”等高线）。关键在于均一的沉降造成了一种明显的任意的定向，这些断层有的是顺时针倾斜的，也有逆时针倾斜的。相反，第二种型式的断层，比起主要断层有较好的定向性，使得构造被分成为一个主要的高的部分和一个低的部分。科塔勃兰奇（见图10）有两组向东北翼倾斜的、主要的放射性断裂。朝向东北翼的这些断层和槽褶皱将这个构造分成高的和低的部分。在维克斯埃兰特（图8），东北边是低的部分，而西翼是高的部分。断层5把这些邻接部分分开。在纳波伦维勒（图7），横过东翼盐鼻的断层把构造的低的部分同高的

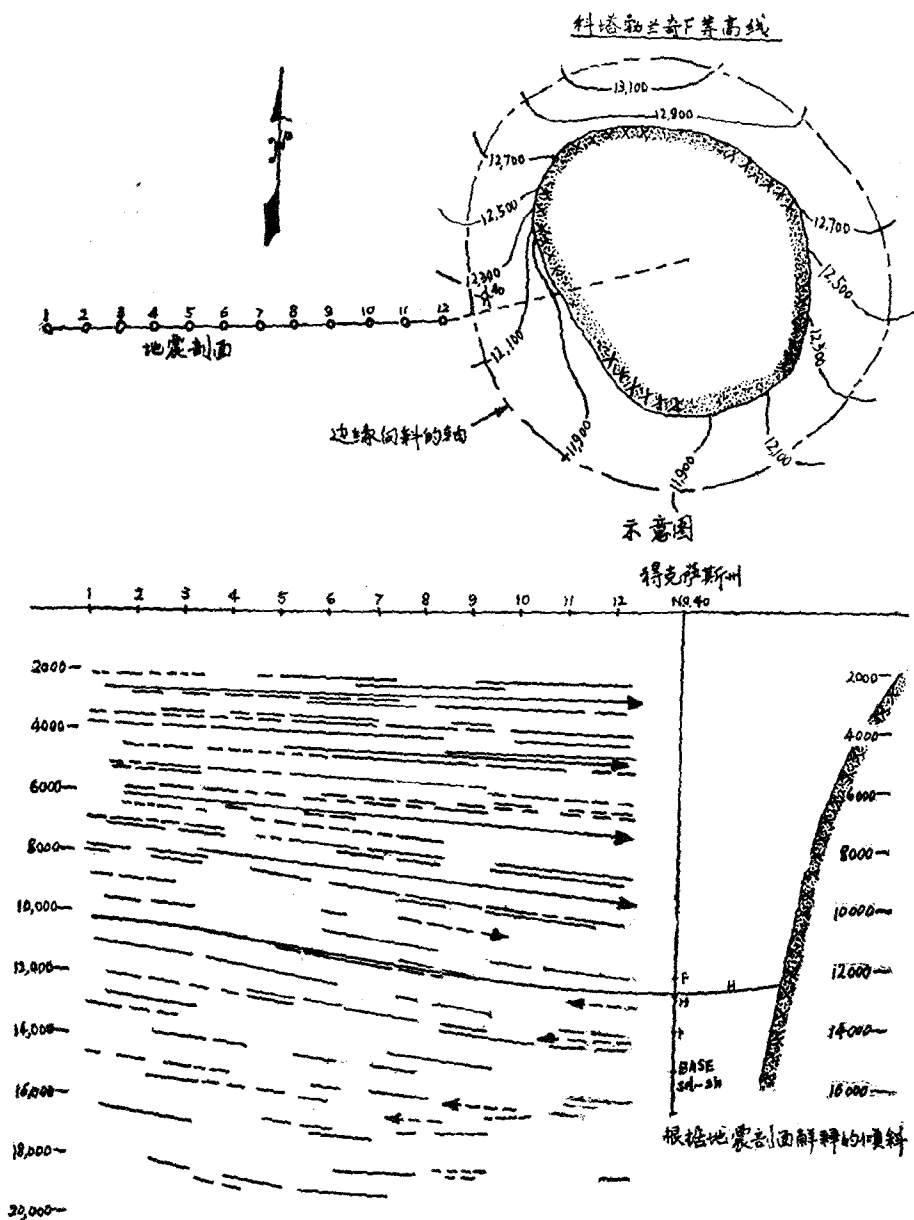


图12—在斜塔勃兰奇由于局部沉降形成边缘向斜。箭头指示趋异的地震倾斜。

南翼分开。

在这些实例中可以见到，构造低地同断裂发展之间存在着一一种关系。派克和麦克道惠尔(1955)发现，在他们的模拟研究中，构造低地是由于不一致的沉积负荷发展起来的。所研究的盐丘上的构造低地都位于盐丘的北半部之外侧。当路易西安纳南部第三纪剖面沉积时，沉积物的运移方向总是从北到南。现在存在的这些构造低地，看来多半也是由盐丘北边的沉积物的额外负荷引起的，这些沉积物作用于能够向现存隆起中心移动的盐或页岩。

六个盐丘的研究表明，如果核的边以大约小于 60° 的角倾斜，翼外的主要断层的等高线趋向于同核的盐或页岩相切。这些关系示于图15。从纳波仑维勒东翼延伸出去的和雷克华盛顿北翼的主断层同盐相切。雷克华盛顿湖的其它断层也同盐相切，见图14的“K₂”图所示。维克斯埃兰特和科塔勃兰奇的主断层以及从纳波仑维勒西翼延伸出去的主断层同深部页岩剖面相切并倾伏到其中。“鞘”和侧翼沉积物的某些接触面是断层面。

核的盐或页岩同沉积物或沉积岩之间的相对运动

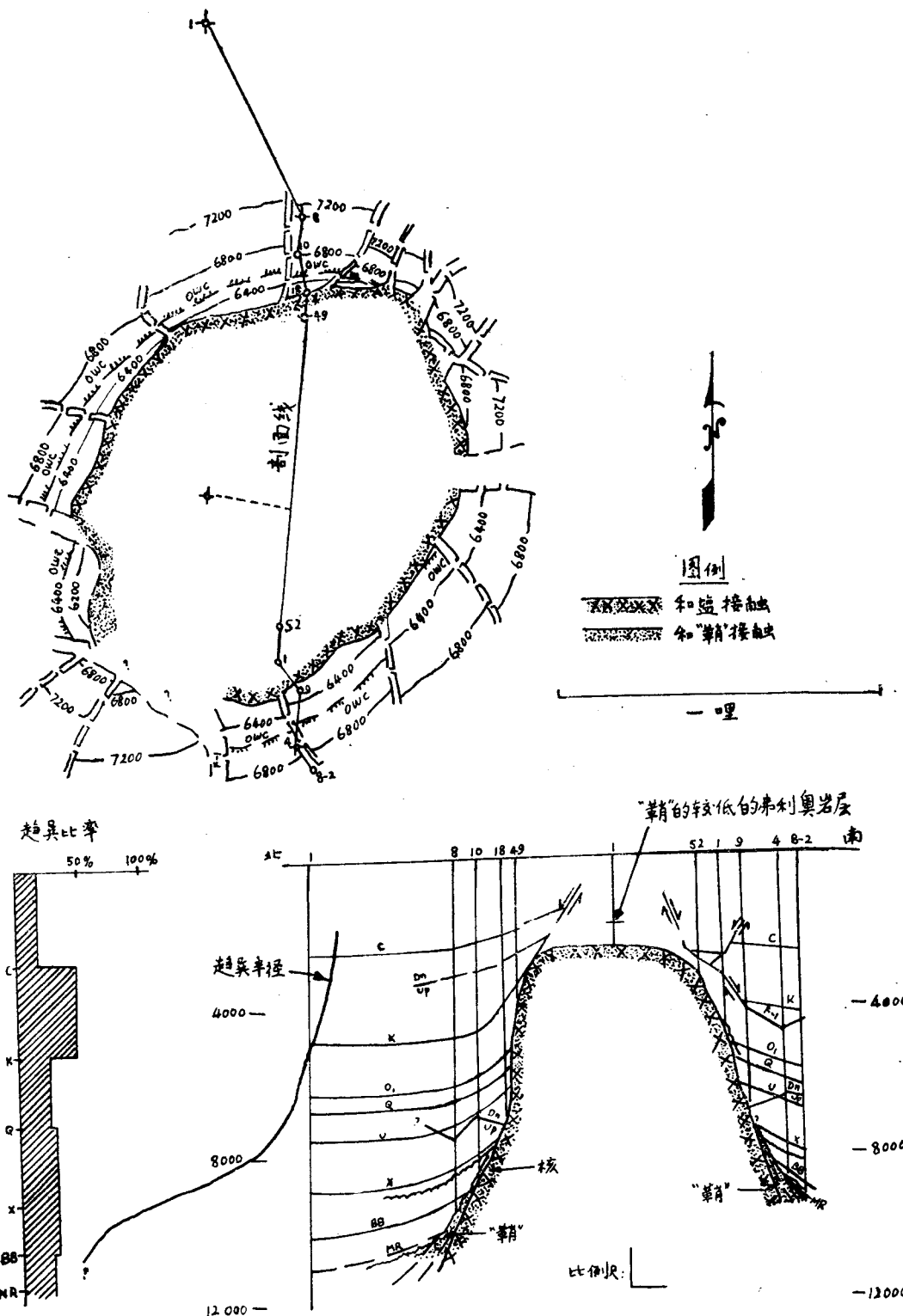


图13—华达卡斯塔构造。

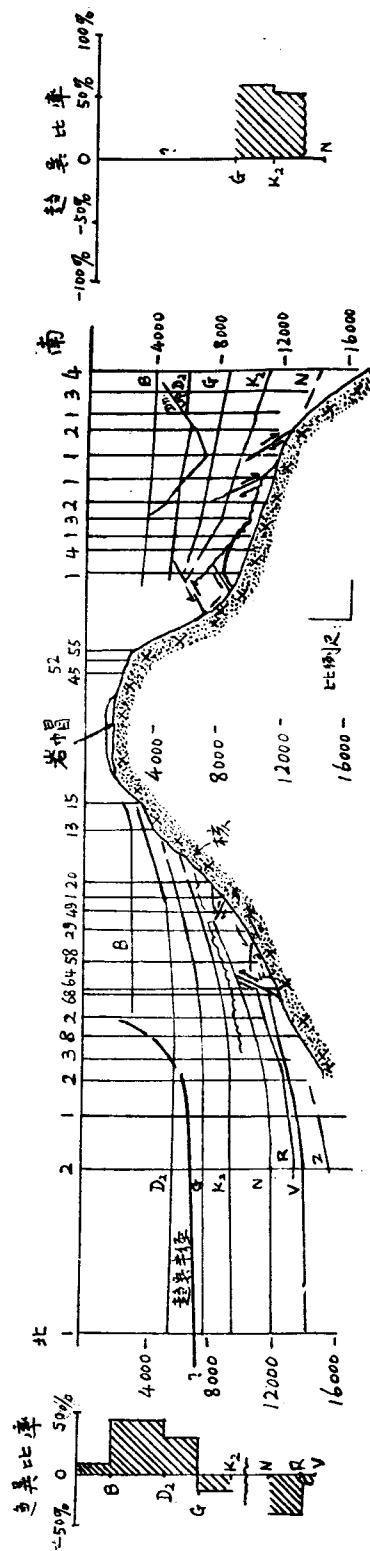
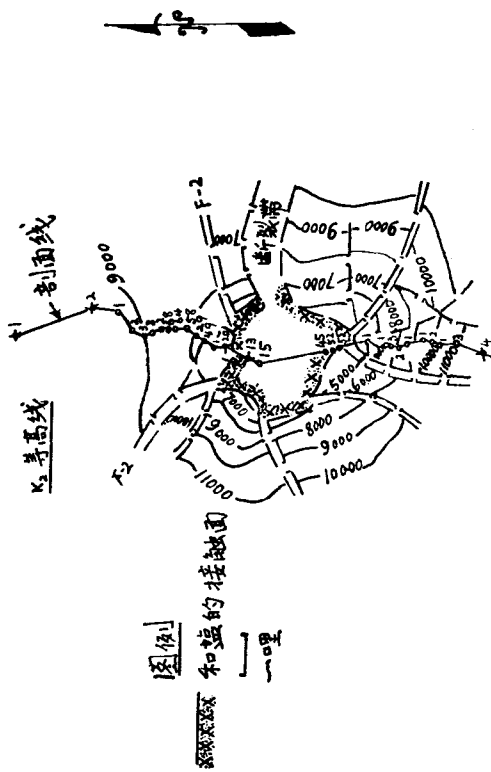


图14—霍克华盛顿构造

引起了盐构造上的断裂。因此在某些情况下，盐的形状有助于预测主断裂带的位置。在纳波仑维勒，盐体在东边的深处呈现出一个明显的鼻，如图15所示。这一鼻由井控制得以证实。这些盐鼻的相对的向上运动引起了构造东半部的断裂，断裂分布在向低的北翼倾斜的鼻上。

断裂一旦形成，和盐体相切的运动可以对盐的形状有某种程度的控制。在雷克华盛顿的北翼，盐的相

对的向上运动沿着一个断裂带发生。北翼一个具有平坦的盐体面，这表明断裂作用控制了盐体面的形状。

在华达卡斯塔和克罗夫利，绝大多数断裂显然是由于盐被砂岩和页岩埋藏所引起的，而使覆盖层断开，升起。在这些盐丘上断裂的突穿型式见图9和13所示。某些这种断裂被认为是同盐体相切的，由于盐体的继续相对上升，这种形迹可能是不明显的。在华达卡斯塔（图13）对于同盐丘顶上的盐体相切的断层

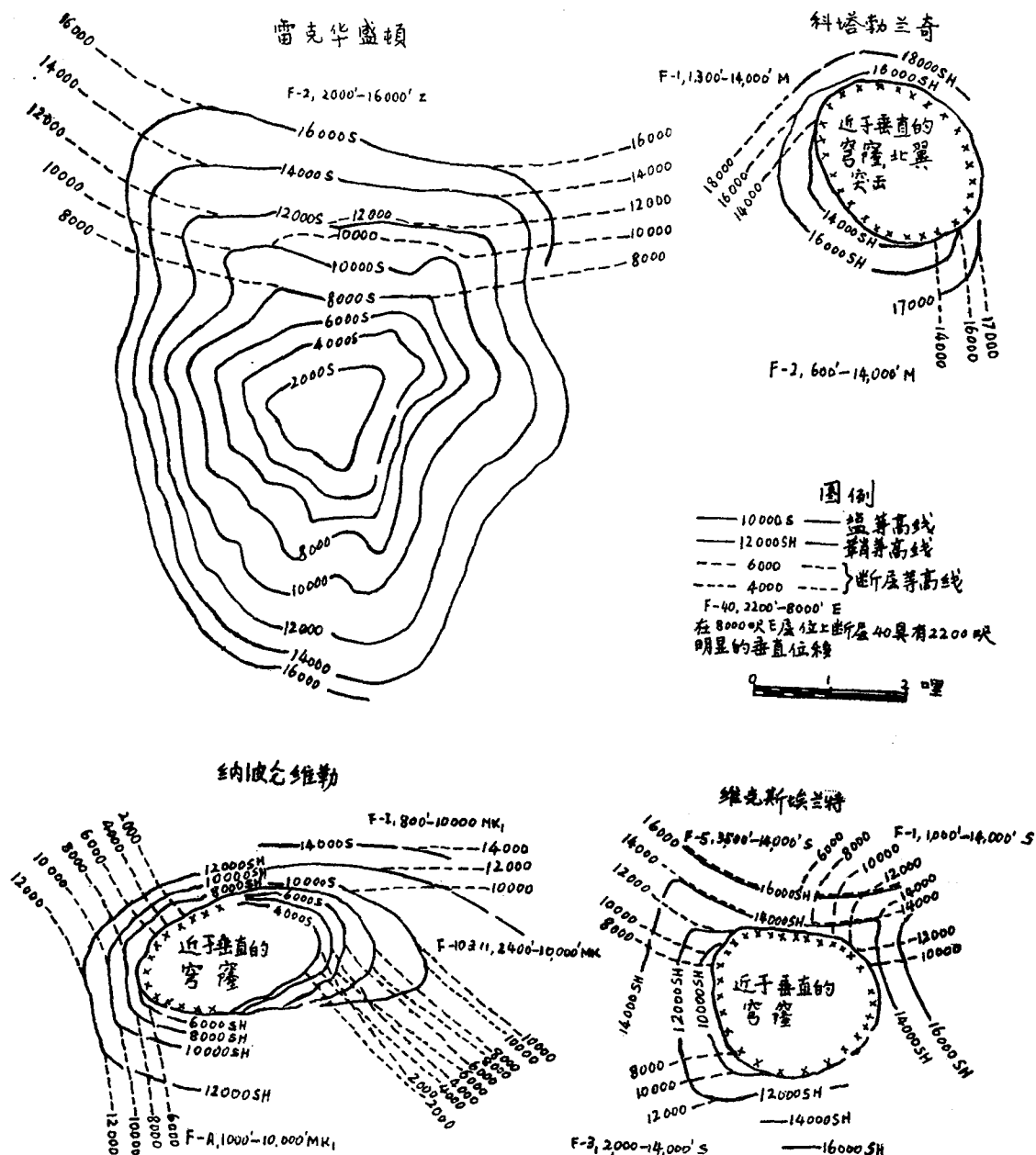


图15. 主断层产状同盐和“鞘”或深部页岩剖面现在位置的关系

作了解说,表明较低的弗利奥岩层位于盐丘顶之上,在翼部位于盐丘正常位置之上8000呎或更高一些。

同纳波伦维勒(F-1)、维克斯埃兰特(F-5,重叠断层)、科塔勃兰奇(F-2,重叠断层)和雷克华盛顿(F-2,重叠断层)的核相切的主断层显示出在下降断块中沉积间隔朝着断层方向变厚。由于这种变厚,在雷克华盛顿北翼的外侧,一个明显的断层滚动构造发育在沿着盐体面的断层的下降边上(图14)。

以后向北倾斜不足以湮没早期的油捕,后者的发育示于“V”砂岩等高线图上(图16a)。向着现存的盐体面的这种变厚出现在密网钻井控制地区中。在纳波伦维勒,断层1以北“MG”到“MK”间隔的等厚线(图16b)表明向着这一断层变厚和滚动。在维克斯埃兰特和科塔勃兰奇,尽管滚动不是这样明显,但朝着断层5和2边缘变厚。

在这些实例中的沉积变厚是由于在这些断层上同

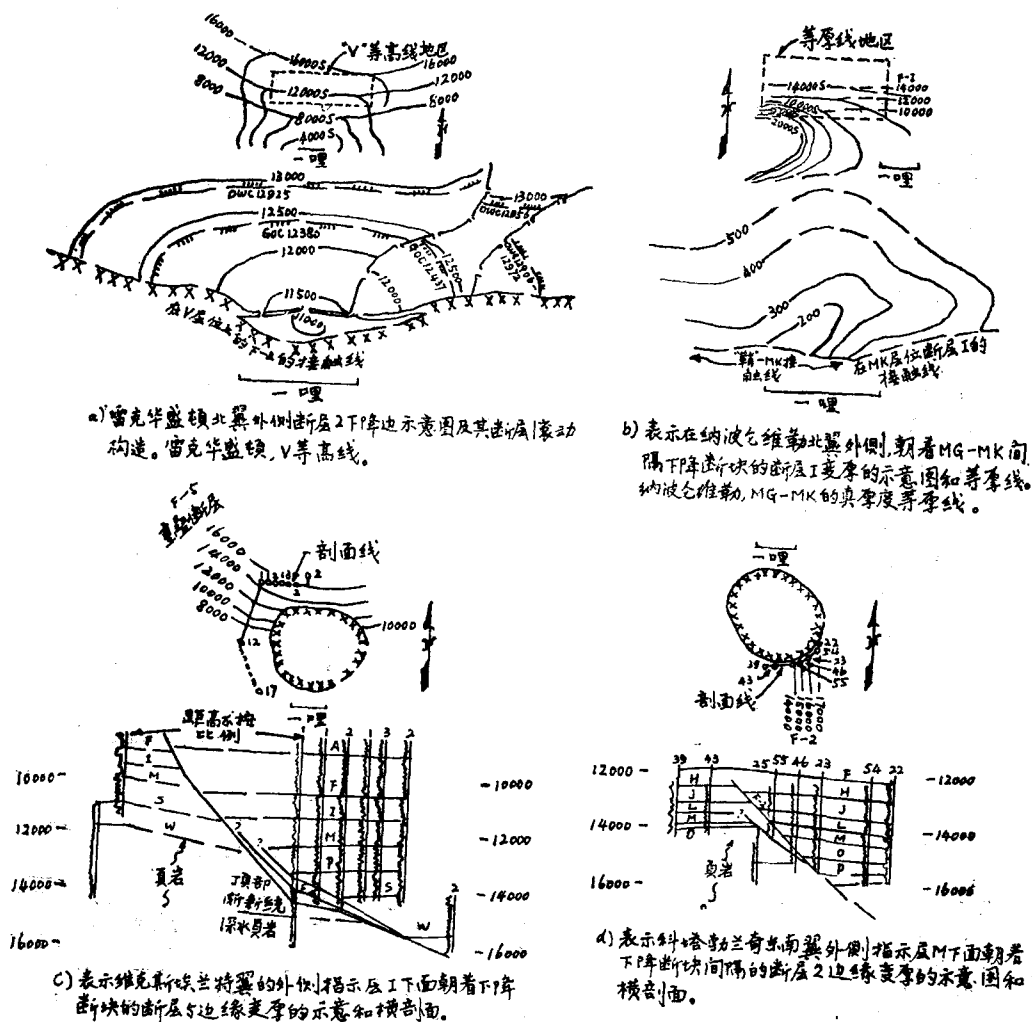


图16.一朝向主要发育断层的沉积间隔的下降断块。

时运动的特性而产生的。对于这些断层性质的详细研究不属于本文的范围。它们是朝着构造的主要是沉降翼倾斜的选择定位断层。

如果盐丘构造上的主断层朝着一个方向倾斜,则这些断层上的运动的水平分力呈同一方向排列。因此,当沿着断层从低的翼向着高的翼发生位移时,这些构

造发生横向位移。用图表明了横过纳波伦维勒盐丘东半部的这样的位移。图7的横剖面表示,与北翼相比,南翼发生前进的相对的向上的褶皱作用,同时如图15所示核则沿着东翼的断层向南位移。

为了认识盐丘的构造历史,必须考虑到整个构造上的每一种构造特征的发展和其它构造特征的关系,

个别的翼或构造特征不能提供全面的了解。

构造历史

六个盐丘中新世产油带上部 15000 呎左右已知沉积岩由砂岩和页岩层组成。其下,可能是一个数千呎厚的第三纪页岩剖面。当这些大陆棚或斜坡粘土沉积时,则13000—27000呎未知类型的沉积岩上复在母盐层上,盐构造的盐向上移动。向上运动发生在直接复盖的砂和粘土沉积的时候,这可以从沿倾斜而上变薄和发生断裂明显地见到。如果盐的运动不是发生在这些上覆沉积物沉积之前,这就是说为了形成浅成盐丘在随后的二、三百呎沉积物沉积时盐开始移动并刺穿13000—27000呎的剖面。当这些粘土沉积时看来盐构造是不可能静止的。不论运动的盐是什么形状,如果它向下延伸到母盐层,则当海相粘土沉积时使盐形成小丘和向上运动的应力仍旧存在。

当以页岩为主的剖面沉积时,构造一定是活动的,盐一定或是靠近地表或是位于地表。如果位于地面之下,盐的所处深度一定小于临界厚度,通过这种深度盐可以在被随后的较高强度含砂沉积层较深地埋藏之前而推进。如果盐被随后的岩层更深地埋藏,则将形成深成的盐构造。本文所研究的都不是深成的盐构造。

研究表明,这些具有“鞘”的盐丘的构造历史是以粘土小丘被盐上推开始的。其后的浅成盐丘构造的发展,以维克斯埃兰特的为基础示于示意图17上。含砂量不断增加的沉积物沉积在翼的外侧或薄薄地沉积在复合小丘的顶上。当区域沉降进行的时候,小丘的

各边向下褶皱并发生位移。盐相对于地面的位置可能近于静止的(Barton的“沉建”),而相对于沉积物则向上运动。这种作用于密度比小丘的粘土较高的砂-粘土剖面上的相对运动和重力是由长期运动产生的。在当时,存在着导致同粘土小丘相切的断层。

当小丘的翼部变陡的时候,褶皱作用停止;盐流动性较大,向上移动形成具有几乎垂直边缘的穹窿(图17c,d)。在这一实例中,“鞘”的形成和盐的相对的向上运动是在前穹窿阶段,部分由于褶皱作用,部分由于断裂作用完成的。盐顶上被隆起的物质被侵蚀作用移掉。

北翼外侧的早期断裂作用在小丘的物质中形成一个凹角(图17a)。较厚的砂-粘土剖面沉积在同小丘邻接的下降断块中,而不是沉积在上升断块或一些上升断块中,结果是砂不均匀地分布在构造的边缘(见图10c,d,维克斯埃兰特和科塔勃兰奇)。

构造发展的类型

对维克斯埃兰特和其它五个盐丘的研究表明,根据构造核的形状盐丘的历史可以分为三个总的构造发展类型(图18)。

如图18a所示,如果核缓和地褶皱,其边缘为低角度倾斜,则在一个较大的地区内所沉积的沉积物在远离核的地方趋异比率低或可忽略不计。主要断裂作用是同这些翼部沉积物沉积同时发生的,断层是弯曲的,与核相切。维克斯埃兰特的“R”—“Y”间隔是这种类型构造发展的一个例子(图8、15、17a,b)。雷克华盛顿间隔,从正位于指示层“K₂”以下处到指

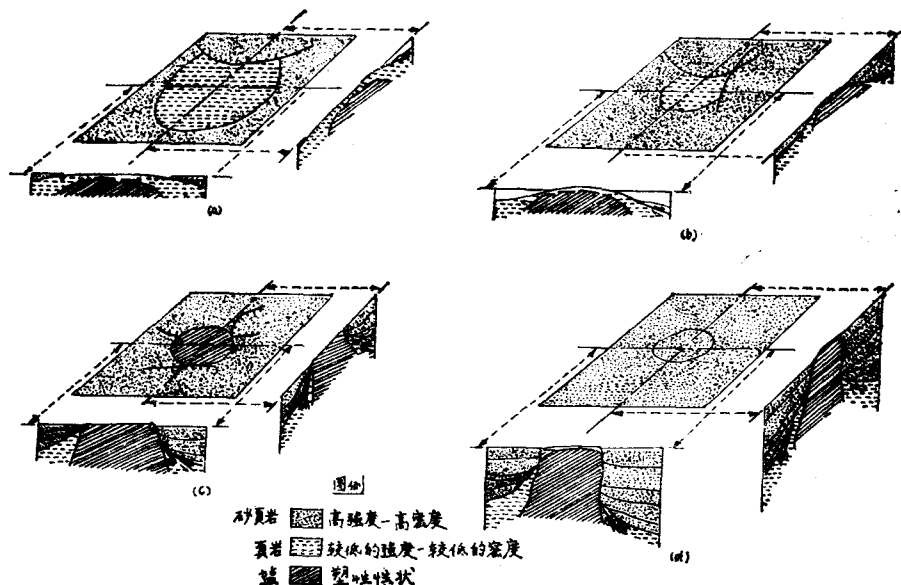


图17—具有“鞘”的浅成盐丘发展示意图。

示层“Z”，为第二个实例，示于图14和15，在维克斯埃兰特实例中，核的活动部分是当粘土和盐沉积时由这些沉积物组成的。在雷克华盛顿，核为盐。



- a. 在所沉积的砂-页岩中：
1. 低的或负的趋异比率。
 2. 大的趋异半径。
 3. 翼的外侧同时期的断裂是弯曲的，与核相切。

实例：

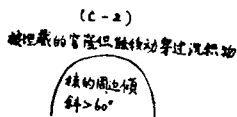
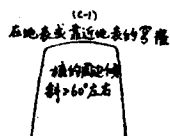
1. 维克斯埃兰特R到Y间隔。
2. 雷克华盛顿K₂土到Z间隔。

- b. 在所沉积的砂-页岩中：

1. 高的趋异比率。
2. 大的趋异半径。
3. 翼的外侧同时期的断裂是弯曲的，与核相切。
4. 隆起和侵蚀不整合。

实例：

1. 维克斯埃兰特F到R间隔。
2. 雷克华盛顿地表到K₂间隔。



- c. 在所沉积的砂-页岩中：
1. 没有或低的趋异比率。
 2. 没有或小的趋异半径。
 3. 翼的外侧沉积物没有断裂。

实例：

1. 科塔勃兰奇地面到I间隔。
2. 克罗夫到地面到A₁间隔。

- d. 在所沉积的砂-页岩中：

1. 变化的趋异比率（经常是低的）。
2. 变化的趋异半径（经常是低的）。
3. 翼的外侧沉积物已经断裂。

实例：

1. 华达卡斯塔地面到O₁间隔。

图18—核的形状对构造发展的影响。

如果核较陡地被褶皱（图18b），则所沉积的沉积物在一个大的地区内有高的趋异比率。主断裂与这些翼部沉积物的沉积同时发生，这些断裂是弯曲的，与核相切。由于在翼部沉积物中存在着侵蚀不整合，隆起自构造的中心向外延伸到足够远的地方。雷克华盛顿地面到“K₂”间隔是这种类型构造发展的一个实例（图14）。维克斯埃兰特“F”到“R”间隔是这种类型构造发展的第二个实例（图8，17c）。

如图18c（1）所示，如果活动的核具有几乎垂直的翼并在地表或靠近地表的地方保持一个位置，则所沉积的沉积物在一个小地区内没有趋异或只有低的趋异比率。这种核的形状本文称之为穹窿。在翼的外侧，断裂作用消失或没有发生。克罗夫利地面到“A”间隔（图9）和科塔勃兰奇地面到“I”间隔（图10）是这种类型构造发展的实例。

在科塔勃兰奇北翼的地面到“I”间隔内，盐和沉积物的外形有特别的意义。如图19半径剖面所示，从13000到14500呎砂岩带和页岩的电测井显示很好对比性能，并控制到盐体的面。向着盐没有变薄或加厚，砂岩和页岩都靠在盐的上面。这一剖面向着盐只是稍稍向上弯曲。沿着倾斜而上没有变薄，在翼部沉积岩中也没有可以辨认的断裂，如图12的示意图所示。盐的相对上升速度必定等于或超过地面盐溶解的速度，实质上等于沉积物的沉积速度。科塔勃兰奇北翼9000到14000呎深度之间有一个明显的盐体突出。从逻辑上解释是，地面的盐向外运动产生了这个突出部分。自这部分沉积以后，盐体面和沉积物均一地沉降。在沉积物-盐体接触面的盐的相对向上运动显然是微弱或不存在的，因为毗邻盐的沉积岩对于盐的流动没有显示任何的摩擦阻力。在支撑着地表小丘的盐和沉积岩之间的相对向上运动必定进一步发生在穹窿内。

图18：（2）表示具有几乎垂直翼部的活动核的第二种变化；穹窿被埋藏，但仍旧能移动穿过侧翼沉积岩。华达卡斯塔地面到“Q₁”间隔（图13）是这种类型构造发展的一个例子。趋异比率是不同的，但受影响的地面区的半径是小的。示于“U”图上的极大多数断层的运动发生在地面到“Q₁”间隔沉积的时候。具有许多小断层的不规则型式同派克和麦克道维尔（1955）的突穿型式相似。穹窿顶上来自较下层的物质包括象“鞘”的弗利奥岩层那样老的物质，表明当某一沉积剖面沉积时盐并不露在地表。

表一表明了构造发展类型看来是一致的六个油田的地层间隔的破坏情况。六个盐丘上所见到的层序系从图18a到b，b到c或a到b到c所示的那些。

所提出的概念几乎完全是涉及在一个直接和构造核邻接的地区内沉积间隔沉积时和沉积后不久所引起的地面和近地面的作用。它并没有考虑到盐体在深部的形状以及当盐相对于其它沉积岩向上移动并在深部为上升运动腾出空间的时候，这种形状发生褶皱和位移的方式。特鲁谢姆（1960）探讨了德国盐丘的这些作用。它们包括一个盐枕生长阶段和挤入生长阶段。就范围而言和本文所述的每个盐丘周围的局部地区相

表1.

表示三种构造发展类型的六个盐丘的地层间隔

	图 号	核 上 的 低 倾 斜	核 上 的 中 间 倾 斜 (盐 或 “鞘”)	核 上 的 高 倾 斜
克罗夫利*	14			地面到 A ₁ ±
科塔勃兰奇*	15		I到M+	地面到 I
雷克华盛顿	16	K ₂ ±到Z		地面到K ₂
纳波仑维勒	17	T ₃ 到MK+	L±到T ₃	地面到L
维克斯埃兰特	18	R到Y	F到R	地面到F
华达卡斯塔尔*	19		到BB?	地面到O ₁ ±

* 全部已知的间隔没有包括进去。

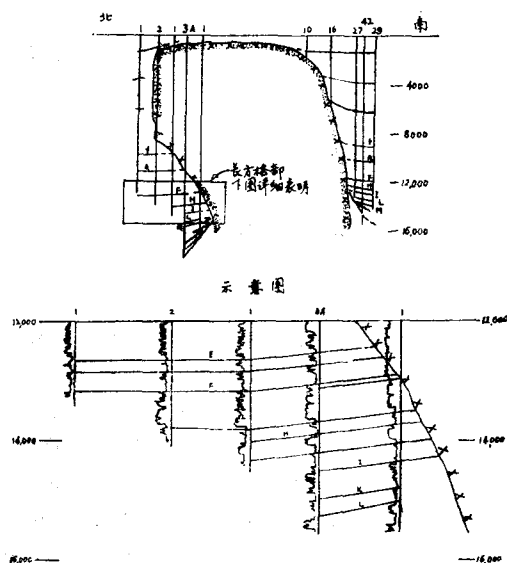


图19—科塔勃兰奇盐体突出部分的盐和沉积岩的外形。
横剖面的位置示于图10。

比, 这些作用看来主要是半区域性质的。

结 论

本文探讨的是墨西哥湾沿岸中新世产油带近海沉积区内六个浅成构造盐丘的构造细节, 从下列结论得出的任何推理应受这些条件限制。

1. 构造发育是和沉积物沉积同时发生的。盐丘周围的极大部分沉积物或是靠着构造的核沉积或在沉积后不久被核“刺穿”。

2. 构造的核为盐或是下伏于砂-页岩层序的高空隙压力剖面中的盐和页岩的组合。

3. 核的页岩是移动过的; 它以鞘的形式处于现在的位置是由褶皱作用或褶皱和剪切(断裂)的组合作用造成的。(参考文献16篇, 略)

译自《Bull. Amer. Assoc. Petrol. Geol.》, 1971, 55卷 2 期